Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 5, Dec- Jan 2022, p. 631-647

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۱ ص.۶۴۷-۶۳۱

Homepage: http://ifstrj.um.ac.ir

Full Research Paper

Evaluation of technological and functional properties of breakfast cereal based on flaxseed oil cake and broken rice flour

Alireza Abbasi[1], Arash Koocheki[2], Elnaz Milani[3*], Mohebbat Mohebbi[2]

Received: 2021.09.07
Revised: 2021.09.14
Accepted: 2021.09.15
Available Online: 2021.09.15

How to cite this article:
Abbasi, A., Koocheki, A., Milani, E., Mohebbi, M. (2022). Evaluation of technological and functional properties of breakfast cereal based on flaxseed oil cake and broken rice flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 18 (5), 631-647.

Abstract

Introduction: Breakfast cereal products are considered as an important meal for athletes and children. By changing eating habits and increasing the consumption of these products, choosing healthy and nutritious raw materials such as whole grains to produce breakfast cereals with great impact on people's health. Rice grain as a technologically important source of starch causes the expansion of extruded products. Since in the production of breakfast cereal and baby food products, exclusively starch with low amylose is used, this indicates the suitability of this source for productionof such products. During the dehusking process, about 14% of the rice is broken to smaller grains, which is commercially classified as a low-value product. The broken rice can be converted to rice flour and used as a raw material in various types of food products. To maintain consumer demand for healthy diets, it is necessary to use high-fiber flours because these types of products will be able to modify the process of decomposition of starch. Although the integration of fiber in products has technological challenges, but by using rice grain as an important source of starch, the technological properties, expansion index, volumetric density and texture (texture hardness and brittleness) can be accepted. At present, modified starch derivatives are widely used in the food industry due to the increase in the quality of the final product. In the production of ready-to-use products for flaking, puffing, a process called extrusion is used. In this process, the product suddenly loses its moisture and leads to the creation of a dense structure containing pores. In this study, the effect of extrusion cooking process parameters on the desired characteristics of flax and rice meal breakfast cereal product with desirable physicochemical and sensory properties was investigated.

Materials and Methods: Extrusion: In this study, a parallel twin-screw extruder (Jinan Saxin, China) was applied, die diameter of 3 mm, and extrusion temperature of 140 °C. Central composite statistical design was used to study the effect of feed moisture (12, 15 and 18%), screw speed (140, 170 and 200 rpm) and Flaxseed oil cake addition (10, 20 and 30%) on technological and functional properties expanded extrudates. The chemical composition of flax meal and rice flour was measured by standard AACC (2000) methods. The expansion ratio was calculated by dividing the mean diameter (mm) by the diameter of the extruder die (4 mm) (Brennan et al, 2008). Textural measurement: The hardness of the extruded breakfast cereals was measured using Texture Analyzer (TA plus Ametek, UK). The cylinder steel probe (2 mm diameter) was set to move at a speed of 1 mm/s The samples were punctured by the probe to a distance of 10 mm. Bowl life hardness: Breakfast cereal samples were immersed in whole milk (3% fat) at 5 ° C for 3 minutes, Then rinsing was performed for 10 seconds and finally the samples were tested similar to the tissue hardness test procedure before immersion by a tissue analyzer (Oliveira et al, 2017). The color parameters L* (lightness), a*(redness), b*(yellowness) values of the samples were determined by the Hunterlab machine (Reston VA, US) (Rhee et al, 2004). Water absorption index in terms of grams of bonded water was calculated. The WSI of the dry solids regained through the evaporation of the supernatant obtained from the water absorption test was calculated (Alam et al, 2019). Sensory evaluation was

1 and 2. Former MSc Student and Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively.
3. Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Khorasan Razavi, Mashhad, Iran
(*Corresponding Author Email: e.milani@jdm.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.72341.1094

performed using a 9-point hedonic test. Response surface methodology was applied for experimental data using a commercial statistical package, Design Expert (version 7.0) for the generation of response surface plot and statistical analysis of the experimental data.

Results and Discussion: One of the most important parameters in the evaluation of breakfast cereal products is the amount of bowl-life hardness, which in this study, the highest amount was obtained at the level of 30% of flaxseed meal, 18% moisture and the lowest amount of screw rotation speed. After immersing breakfast cereal in milk, by increasing the percentage of flax meal due to the harder flow path, moisture absorption decreases and thus prevents the expansion of the product and increases the density of the mass and the hardness of the tissue. Due to the formation of a layer of lipids and micelles on the surface of the product prevents moisture transfer and absorption, so tissue hardness decreases and bowl-life hardness time increases. In fact, the amount of moisture absorption is a good model that shows the potential of bowl hardness-life of the samples. It is also compact and dense, which increases the retention time of breakfast cereal texture. Moisture can also reduce the shear force as a plasticizer and increase the amount of moisture absorption of the product. While increasing the speed of screw rotation, the effect of shear force on starch dextrinization increases and reduces moisture absorption. Another important feature of breakfast cereals is the lightness index, the highest value of which was obtained at the speed of screw rotation, humidity and low flax meal level. In the study of sensory properties of products produced at meal levels less than 20%, moisture content less than 15% and screw speed of 200 rpm showed the highest overall acceptance.

Keywords: Extrusion, Rice flour, Breakfast cereal, Flaxseed oil cake.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 18, No. 5, Dec- Jan 2022, p. 631-647

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۸، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۱ ص.۶۴۷-۶۳۱

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های تکنولوژیکی و عملکردی غله صبحانه بر پایه کنجاله کتان و آرد برنج

علیرضا عباسی[۱]- آرش کوچکی[۲]- الناز میلانی*[۳]- محبت محبی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

چکیده

در راستای تغییر عادت‌های غذایی مصرف فراورده‌های غله صبحانه به علت قابلیت مصرف راحت، مقرون به صرفه بودن و ارزش تغذیه‌ای بالا، دو چندان شده است. این فراورده‌ها لزوما باید ساختاری فشرده و متراکم با تخلخل کم داشته باشند تا در هنگام غوطه‌وری در شیر به‌واسطه سرعت جذب آب آهسته فراورده سبب حفظ بافت و تردی آن گردد. ضروری است جهت دستیابی به بافت مطلوب و تعدیل تجزیه نشاسته از دانه‌های با فیبر رژیمی بالا و فرایند اکستروژن استفاده گردد. اگرچه ادغام فیبر در فراورده‌ها، چالش‌های تکنولوژیکی به همراه دارد اما با استفاده از دانه برنج به‌عنوان منبع مهم نشاسته و مالتودکسترین می‌توان به ویژگی‌های مورد نظر رسید. در این پژوهش با هدف دستیابی به فراورده غله صبحانه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عملکردی و حسی مطلوب، ارزیابی اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل رطوبت (۱۲، ۱۵ و ۱۸ درصد)، سرعت ماریپچ (۱۴۰، ۱۷۰ و ۲۰۰ دور بر دقیقه) و میزان کنجاله کتان (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) بر ویژگی‌های فراورده مورد نظر بر پایه آرد برنج با استفاده از طرح آماری سطح پاسخ بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش رطوبت منجر به افزایش سختی بافت، سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر، شاخص جذب آب و کاهش شاخص حلالیت در آب، شاخص روشنایی، شاخص قرمزی و شاخص زردی فراورده گردید. افزایش سرعت ماریپچ سبب افزایش شاخص حلالیت در آب، شاخص قرمزی، شاخص زردی و کاهش نسبت انبساط، سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر، شاخص جذب آب و شاخص روشنایی رنگ شد. افزایش میزان کنجاله کتان باعث افزایش میزان سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر، شاخص قرمزی و کاهش نسبت انبساط، شاخص روشنایی، شاخص زردی، شاخص جذب آب گردید، شاخص حلالیت در آب ابتدا کاهش سپس افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از کنجاله کتان تا سطح ۱۷ درصد به‌عنوان یک منبع غنی از فیبر رژیمی در فراورده‌های غله صبحانه اکسترود شده می‌تواند سبب تولید فراورده‌ای با ویژگی‌های تکنولوژیکی و حسی مطلوب گردد.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، آرد برنج، غله صبحانه، کنجاله کتان.

مقدمه

غله صبحانه به‌عنوان اولین وعده غذایی روز با شیر یا آبمیوه مصرف می‌شوند و از دانه‌های غلاتی مانند ذرت، گندم، برنج، جو و جو دوسر تولید می‌شوند (Perdon et al, 2020). این فراورده‌های غذایی به دلیل راحتی مصرف، متنوع بودن در شکل، طعم و همچنین دارا بودن ارزش تغذیه ای بالا به عنوان یک وعده غذایی مهم برای ورزشکاران و کودکان به حساب می‌آیند (Santos et al., 2019). با توجه به تغییر عادت‌های غذایی و افزایش مصرف فراورده‌های غله صبحانه انتخاب مواد اولیه سالم و مغذی مانند دانه‌های کامل برای تولید غله صبحانه تأثیر بسیار زیادی بر سلامت افراد می‌گذارد (;Yaman et al., 2019).

دانه برنج (Oryza sativa) یکی از بیشترین محصولات توسعه یافته در جهان است و از لحاظ تکنولوژیکی به‌عنوان منبع مهم نشاسته سبب انبساط فراورده‌های اکسترود شده می‌گردد (Santos et al., 2019; Walter et al., 2008). در طی فرایند پوست‌کنی حدود ۱۴ درصد از برنج بصورت دانه‌های شکسته خارج می‌شود که از لحاظ تجاری به‌عنوان محصول کم ارزش طبقه‌بندی می‌شوند که می‌تواند به آرد برنج تبدیل شده و به‌عنوان ماده خام در انواع مختلفی از فراورده های غذایی استفاده شود (Silva et al, 2008). معمولا مقدار آمیلوز نشاسته انواع برنج حدود ۲۵- ۱۵ درصد می‌باشد. در تولید غذای کودک و غله صبحانه منحصرا از نشاسته با آمیلوز کم ۱۲- ۲۰ درصد استفاده می‌شود که این نشان‌دهنده منبع مناسبی برای استفاده در فراورده‌های

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- دانشیار، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد.
* - نویسنده مسئول: Email: e.milani@jdm.ac.ir
DOI: 10.22067/ifstrj.2021.72341.1094

غله صبحانه است (Brennan et al., 2016). به‌طورکلی پروفایل تغذیه‌ای برنج شامل ۸۰ درصد کربوهیدارت، ۷- ۸ درصد پروتئین، ۳ درصد چربی، ۳ درصد فیبر و حاوی ۷- ۸ درصد مواد معدنی و ترکیبات بیواکتیو می‌باشد (Sen et al, 2020). سلامت بخش بودن یک فراورده غذایی به حضور ترکیبات زیست فعال مانند فیبر و فنل ها بستگی دارد (Oliveira et al, 2018).

بذرکتان (*Linum usitatissimum*) از لحاظ تغذیه‌ای به‌عنوان منبعی غنی از آلفالینولنیک اسید، فیبررژیمی، ترکیبات بیواکتیوی مانند لیگنان ها، فلاوونوئیدها و گاماتوکوفرول می‌باشد (Goyal et al, 2014). از آن جایی که پرولامین‌ها عامل اصلی حساسیت بیماران سلیاکی به فراورده مورد نظر هستند، می‌توان از بذرکتان فراوری شده در فرمول فراورده‌های بدون گلوتن استفاده کرد (Santos et al., 2019). سازمان غذا و دارو آمریکا استفاده از بذرکتان تا ۱۲ درصد در فراورده‌های غذایی را پیشنهاد کرده است (Kaur et al, 2019; Kaur et al., 2018). این بذر علاوه بر فواید تغذیه‌ای بی‌شمار دارای خواص عملکردی مهمی مانند عمل امولسیفایری و استابلایزری، خاصیت کف-کنندگی، ظرفیت اتصال آب، فعالیت ضدقارچی، اصلاح ویسکوزیته بافت و ایجاد بافت ویسکوالاستیک در فراورده‌های اکسترود شده مانند غله صبحانه، اسنک و پاستا ها می‌باشد (Santos et al., 2019; Wu et al, 2010). به‌طور کلی بذر کتان حاوی ۳۰- ۴۰ درصد چربی، ۳۵- ۲۰ درصد فیبر رژیمی، ۳۰- ۲۰ درصد پروتئین، ۸- ۴ درصد رطوبت، ۴- ۳ درصد خاکستر و ۱ درصد قندهای ساده است (Goyal et al, 2014). در حال حاضر مشتقات اصلاح شده نشاسته به علت افزایش کیفیت فراورده نهایی کاربرد گسترده‌ای در صنعت مواد غذایی دارند، یکی از این ترکیبات مالتودکسترین است که حاصل هیدرولیز جزئی نشاسته بوده و پلیمری از ساکاریدهای فاقد طعم شیرین است که در محصولات پخت به دلیل ایجاد حجم و بهبود بافت، حفظ رطوبت، خواص امولسیفایری، به تاخیر انداختن بیاتی و احساس دهانی مطلوب استفاده می‌شود (Chronakis, 1998). در تولید فراورده‌های آماده مصرف جهت پرک کردن، پف کردن از فرایندی به نام اکستروژن استفاده می-شود که تحت تأثیر حرارت، فشار و نیروی برشی، ماده مذاب حاصله هنگام خروج از قالب به علت اختلاف فشار بالای بین داخل و بیرون اکسترودر به صورت ناگهانی رطوبت خود را از دست داده و منجر به ایجاد ساختار متراکم حاوی خلل و فرج می گردد. ویژگی‌های خلل و فرج (تخلخل، دانسیته حباب‌ها، شکل و میزان توزیع) تا حدی ویژگی های بافتی نهایی غله صبحانه را تعیین می‌کند، همچنین ویژگی‌های رئولوژیکی ماده مذاب تعیین کننده میزان ظرفیت انبساط فراورده است (Predon et al, 2020; Strahm, 1998).

از نظر تغذیه‌ای غلات صبحانه فراورده هایی با اندیس گلایسمی بالا هستند. این شاخص به‌طور گسترده مرتبط با تعدادی از بیماری‌ها از جمله دیابت، پیش دیابت، بیماری های قلبی عروقی، سرطان و چاقی است به همین دلیل سبب افزایش نگرانی در بازار مصرف غله صبحانه شده است و از آن جایی‌که تقاضای مصرف کننده برای محصولات غذایی سالم‌تر است، بنابراین جهت تامین سلامت و نیازهای تغذیه‌ای مصرف کننده ضروری است از آردهای با فیبر بالا استفاده شود به علت اینکه این نوع فراورده‌ها قادر به تعدیل فرایند تجزیه نشاسته خواهند بود (Brennan et al, 2012). اگرچه ادغام فیبر در فراورده‌های صنایع غذایی چالش های تکنولوژیکی به همراه دارد اما با استفاده از دانه برنج به‌عنوان منبع مهم نشاسته می‌توان به ویژگی‌های تکنولوژیکی، شاخص انبساط، دانسیته حجمی و بافت (سختی بافت و تردی) مورد پذیرش رسید (Santos et al, 2019; Oliveira et al, 2018). در مطالعات پیشین استفاده از انواع دانه‌های غلات در تولید فراورده‌های غله صبحانه و ارزیابی اثر پارامترهای اکستروژن بررسی شده است اما استفاده از کنجاله کتان به همراه برنج در تولید این فراورده‌ها بررسی نشده است. بنابراین، در این تحقیق برآن شدیم با استفاده از کنجاله‌کتان و برنج در ضمن تولید فراورده غله صبحانه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی مطلوب، اثر پارامترهای فرایند پخت اکستروژن بر ویژگی‌های مورد نظر بررسی گردد.

مواد و روش‌ها

دانه روغنی کتان از عطاری سطح شهر، دانه برنج شکسته ایرانی واریته هاشمی از فروشگاه و پودر مالتودکسترین (میزان دکستروز ۱۸ اکی والان) از شرکت پرتو ساخت هیراد با برند Tak Rahoo تهیه گردید. ابتدا ناخالصی‌های دانه روغنی‌کتان حذف، سپس توسط دستگاه پرس سرد چربی‌گیری شد. در نهایت کنجاله به‌دست آمده توسط آسیاب (توس شکن خراسان، ایران) پودر شده و تا زمان استفاده در کیسه‌های پلی اتیلنی در دمای اتاق نگهداری شدند. دانه‌های برنج شکسته پس از حذف ناخاصی‌ها آسیاب و سپس با الک مش ۴۰ اندازه ذرات آن یکنواخت شد سپس ترکیبات شیمیایی کنجاله کتان و آرد برنج توسط روش های استاندارد AACC (2000) اندازه‌گیری شد. مقدار رطوبت پودرکنجاله کتان چربی‌گیری شده و آرد برنج شکسته توسط دستگاه رطوبت‌سنج IR (Sartorius Ag،Germany)، مقدار پروتئین از روش کجلدال، چربی از روش سوکسله، خاکستر نمونه با کوره ۵۵۰ درجه سانتی گراد، فیبر توسط شرکت جوانه خراسان براساس جزء باقی مانده از نمونه پس از هضم با محلول اسید سولفوریک و هیدروکسید سدیم (پتاس جوشان) و تبدیل آن به خاکستر توسط کوره اندازه‌گیری شد.

برای محاسبه میزان کربوهیدرات از طریق کسر درصد کلیه ترکیبات از ۱۰۰ انجام شد.

تهیه فرمولاسیون و آماده‌سازی جهت اعمال فرایند اکستروژن

ابتدا با توجه به میزان رطوبت مواد اولیه و سطوح رطوبتی مورد نظر (۱۲، ۱۵و ۱۸درصد)، توسط مربع پیرسون مقدار آب لازم محاسبه گردید، سپس در نسبت‌های مختلف ۱۰ درصد پودرکنجاله کتان (۸۰ درصد آرد برنج، ۱۰درصد مالتودکسترین)، ۲۰ درصد پودرکنجاله کتان (۷۰ درصد آرد برنج،۱۰ درصد مالتودکسترین)، ۳۰ درصد پودرکنجاله کتان (۶۰ درصد آرد برنج، ۱۰درصد مالتودکسترین) اختلاط انجام شد. پس از مخلوط کردن در کیسه‌های پلی اتیلنی، بسته‌بندی شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد، داخل یخچال (جهت توزیع یکنواخت رطوبت در نمونه) نگهداری شدند.

شرایط فرایند اکستروژن

نمونه‌های غله صبحانه، توسط دستگاه اکسترودر جفت مارپیچی همگرد (Jinan Saxin, China) تحت شرایط سرعت خوراک ۱/۵ کیلوگرم بر ساعت، دمای۱۴۰ درجه سانتی گراد، قطر منفذ خروجی ۳ میلی متر، سرعت مارپیچ (۱۴۰، ۱۷۰، ۲۰۰ دور بر دقیقه)، مقدار رطوبت (۱۲، ۱۵و ۱۸درصد) و میزان پودر کنجاله کتان (۱۰،۲۰ و۳۰ درصد) تولید شدند، به‌منظور خشک کردن از آون هوای داغ (Binder Germany) (دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد) استفاده شد سپس نمونه‌ها تا هنگام انجام آزمون‌های مورد نظر در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگهداری شدند.

نسبت انبساط[1]

از هر تیمار ۱۰ نمونه به‌طور تصادفی انتخاب و قطر دو قسمت متفاوت از فراورده اکسترود شده توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد سپس از طریق تقسیم میانگین قطر (میلی‌متر) بر قطر قالب اکسترودر (۴ میلی‌متر) نسبت انبساط محاسبه گردید (Brennan et al, 2008).

سختی بافت[2]

میزان سختی بافت توسط دستگاه آنالیز بافت (TA plus Ametek, UK) تعیین شد. از هر تیمار ۲ نمونه به‌طور تصادفی انتخاب شد و روند آزمون به صورت نفوذ پروب استوانه‌ای به قطر۲ میلی متر به داخل نمونه با سرعت ثابت یک میلی‌متر در ثانیه و اندازه‌گیری حداکثر نیروی لازم جهت نفوذ ۱۰ میلی‌متری (عمق نفوذ) این پروب در بافت فراورده بود. در نهایت بیشینه نیروی وارد شده توسط دستگاه به‌عنوان سختی اعلام شد (Oliveira et al, 2017).

سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر[3]

نمونه‌های غله صبحانه در شیرکامل (چربی ۳ درصد) با دمای ۵ درجه سانتی گراد به مدت ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند (مقدار شیر اضافه شده باید ۴ برابر بیشتر از وزن نمونه باشد). سپس به مدت ۱۰ ثانیه عمل آب‌کشی انجام شد و در نهایت نمونه‌ها مشابه روند آزمون سختی بافت قبل از غوطه‌وری توسط دستگاه آنالیز بافت مورد آزمون قرار گرفتند (Oliveira et al, 2017).

رنگ

مقدار کافی از نمونه پودر شده غله صبحانه به داخل کاپ مخصوص دستگاه ریخته شد به‌طوری که کف ظرف کاملا پوشیده شود سپس پارامترهای رنگی L^*(روشنایی)، a^* (سبز- قرمزی) وb^* (آبی- زردی) توسط دستگاه هانترلب (Reston VA, US) در ۳ تکرار تعیین شدند (Rhee et al, 2004).

شاخص جذب (WAI[4]) و حلالیت در آب (WSI[5])

ابتدا ۲/۵ گرم از نمونه آسیاب شده به لوله فالکون ۵۰ میلی‌لیتری از پیش توزین شده اضافه شد سپس ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و توسط ورتکس به مدت دو دقیقه هم زده شد، در مرحله بعد مخلوط حاصل در سرعت (g) ۳۰۰۰ به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ گردید. پس از حذف مایع رویی وزن لوله حاوی ژل توزین شد. شاخص جذب آب برحسب گرم آب باند شده توسط ۲/۵ گرم از نمونه بر مبنای خشک طبق معادله ذیل محاسبه گردید (Alam et al, 2019). برای تعیین شاخص حلالیت، مایع رویی خارج شده در مرحله شاخص جذب آب، به پلیتی که از قبل توزین شده بود انتقال یافت. سپس در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا آب آن به‌طور تبخیر شود و در نهایت توزین و مقدار از معادله زیر به‌دست آمد (Alam et al, 2019).

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{وزن ژل باقی مانده}}{\text{وزن نمونه}} \quad (۱)$$

$$\text{شاخص حلالیت در آب} = \frac{\text{وزن ماده خشک محلول}}{\text{وزن نمونه}} \quad (۲)$$

ارزیابی حسی

1 Expansion ratio
2 Dry hardness
3 Bowl_life hardness
4 Water Absorbtion Index
5 Water Solution Index

با استفاده از آزمون لذت‌بخشی ۵ نقطه‌ایی (۱= خیلی بد، ۵= خیلی خوب) ظاهر، رنگ، عطر و طعم، بافت (سختی) و پذیرش‌کلی فراورده های غله صبحانه توسط ۱۰ ارزیاب انجام گرفت. جهت آماده‌سازی، از هر تیمار ۱۰ عدد نمونه به‌طور تصادفی انتخاب شد سپس در ۴۰ میلی-لیتر شیر (چربی ۳ درصد و دمای ۵ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۳ دقیقه غوطه‌ور شدند سپس عمل ارزیابی حسی مورد آزمون قرار گرفت (Oliveira et al, 2018).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

جهت بررسی اثر متغیرهای مستقل (کنجاله کتان (x_1)، سرعت چرخش مارپیچ (x_2) و رطوبت (x_3)) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert ۷،۰،۰ انجام شد. در طرح آزمایش شش نقطه مرکزی برای محاسبه تکرارپذیری و خطای آزمایش تعیین شد. برای توصیف مدل‌ها از معادله زیر استفاده شد، Y (توابع پاسخ) و x_i، i =۱، ۲ و ۳ (متغیرهای مستقل) می‌باشد.

$$Y=b0+b1x1+b2x2+b3x3+b11x12+b22x22+b33x32+b12x12+b13x1x3+b23x2x3 \quad (۳)$$

ضرایب مدل با b (ضریب ثابت)، b_1، b_2 و b_3 (اثر خطی)، b_{11}، b_{22} و b_{33} (اثر درجه دوم)، b_{12}، b_{13} و b_{23} (اثر متقابل) نشان داده شده است. اثرات معنی‌دار در مدل با تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای هر پاسخ مشخص شد. R^2 (ضریب تبیین)، Adj-R^2 (ضریب تبیین تصحیح شده) CV (ضریب تغییرات) برای مناسب بودن مدل پیش‌بینی شده مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی انتخاب شد. برای متغیرهای مستقل محدوده، در حالی که برای پاسخ‌ها حداکثر یا حداقل یا محدوده در نظر گرفته شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی کنجاله کتان، آرد برنج و مالتودکسترین بر مبنای ماده خشک (میانگین ± انحراف معیار)

Table 1- Chemical characteristic of raw materials based on dry weight.

Chemical compositions (%)	Flaxseed oil cake	Broken rice	Maltodextrin
Protein	34.56 ±0.26	10.90±0.13	0.4
Fat	16.69 ±0.33	1.05 ±0.2	–
Total fiber	12.90 ±0.37	4.05± 0.13	–
Moisture	7.46 ±0.19	9.13 ±0.04	6
Ash	4.28 ±0.01	0.87 ±0.001	0.3
Carbohydrate	24.11 ±0.38	74 ±0.05	18

نتایج و بحث

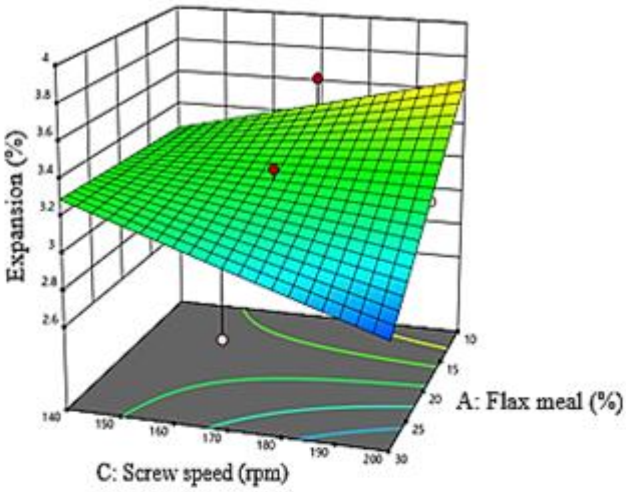
تعیین ترکیبات شیمیایی

جدول ۱

نسبت انبساط

نسبت انبساط پارامتری جهت توصیف میزان گسترش حجمی ماده مذاب خروجی از اکسترودر در جهت عمودی است (Falcone and Phillips, 1988). در اصل میزان انبساط وابسته به اختلاف فشار بین اتمفسر و قالب است (Mesquita et al, 2013). مراحل مکانیکی انبساط شامل تغییر شکل نشاسته، تشکیل هسته حباب‌ها، رشد حباب ها و فروپاشی حباب‌ها می‌باشد(Moraru and Kokini, 2003). مقدار انبساط و حجم فراورده اکسترود شده مرتبط با ژلاتینه شدن نشاسته بوده و اغلب به رطوبت خوراک، دما، زمان اقامت ماده مذاب در اکسترودر، تعداد، اندازه و توزیع سلول‌های هوای محصورشده توسط ماده غذایی بستگی دارد. میزان الاستیسیته ماده مذاب بیشترین اثر را بر این شاخص دارد (Santos et al, 2019; Mesquita et al, 2013; Manjula et al, 2014). با افزایش مقدار کنجاله کتان، نسبت انبساط به علت افزایش میزان فیبر، به‌طور قابل توجهی از ۳/۹۳ به ۲/۶۳ کاهش یافت (شکل ۱). با افزایش میزان جایگزینی آرد برنج با کنجاله کتان، مقدار نشاسته در فرمول نهایی کاهش یافته و به علت کمپلکسی که بین فیبر با نشاسته و فیبر با آب ایجاد می‌شود ژلاتینه شدن نشاسته محدود خواهد شد. فیبر باعث شکستن دیواره سلول‌های هوا قبل از گسترش کامل حباب ها شده و در نتیجه ساختاری با انبساط کمتر، تخلخل کمتر و دانسیته بالاتر ایجاد می‌گردد (Oliveira et al, 2015; Oliveira et al., 2018). اثرات مشابه فیبر بر نسبت انبساط توسط محققین مشاهده شده است (Brennan et al, 2016; Carvalho et al, 2012). همچنین با افزایش میزان پروتئین خوراک، نیروی برشی مارپیچ اکسترودر کاهش یافته و از سوی دیگر بر توزیع آب در ماتریکس‌بین‌سلولی و افزایش پیوند تأثیر گذاشته و سبب کاهش نسبت انبساط می‌گردد (Brennan et al., 2016). مشابه این اثر توسط محققین مشاهده شد که مقدار بالای پروتئین سبب کمتر شدن

ویسکوزیته ماده مذاب و در نتیجه کاهش انبساط شد (Meng et al, 2010; Onwulata and Konstance, 2006). با افزایش سرعت مارپیچ در سطوح جایگزینی بالا، نسبت انبساط کاهش یافت (شکل ۱). به علت افزایش نیروی برشی در سرعت مارپیچ بالا، میزان دکسترینه شدن و تخریب نشاسته افزایش یافته و به موجب آن ویژگی‌های خمیری شدن نشاسته کاهش یافته و در نتیجه میزان حجم فراورده کاهش پیدا می‌کند. این امر همچنین می‌تواند به علت بیشتر شدن گسترش طولی فراورده در سرعت‌های بالا باشد (Moraru and Kokini, 2003; O'shea et al, 2014; Pansawat et al, 2008). Mesa و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاهش رشد حباب‌ها و ایجاد تعداد زیادی حباب‌های با اندازه کوچک می‌تواند دلیلی بر کاهش میزان انبساط فراورده در سرعت‌های مارپیچ بالا باشد (Mesa et al., 2009).



شکل ۱- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر نسبت انبساط، اثر میزان کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 1. Effect of extrusion conditions: flax cake, screw speed on the expansion ratio

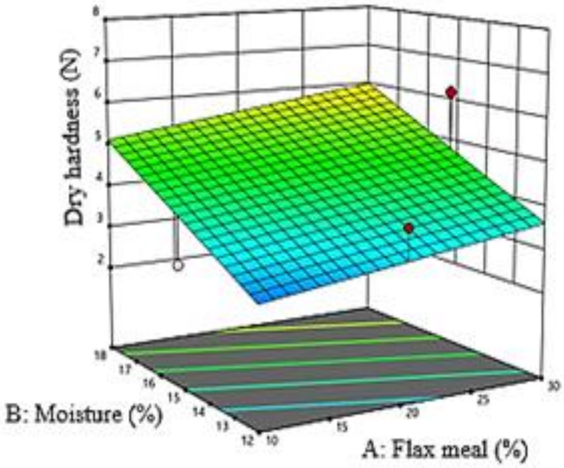
سختی بافت

درک مصرف کننده از سختی و تردی بافت مرتبط با میزان انبساط و ساختار سلول‌های ماده اکسترود شده است (Ding et al, 2005). با افزایش میزان رطوبت خوراک، سختی بافت از ۲/۸ به ۷/۱۲ نیوتن افزایش یافت (شکل ۲). به‌طور کلی فراورده‌های با دانسیته حجمی بالا و نسبت انبساط پایین، تعداد حفرات کمتر و دیواره سلولی ضخیم‌تری دارند بنابراین نیاز به نیروی شکست بیشتری داشته و بافت سخت‌تری خواهند داشت (Cheewapramong et al, 2002). رطوبت می‌تواند به عنوان روان‌کننده سبب کاهش نیروی برشی و دمای فرایند شده در نتیجه میزان پخت ماده مذاب کاهش یافته و سبب ایجاد فراورده ای با انبساط پایین و سختی بالا شود (Ravindran et al, 2011). همچنین رطوبت بالا رشد حباب ها و سلول‌های هوا را در فراورده محدود کرده، سبب فشرده شدن حباب ها و کاهش میزان نشاسته پخته شده می‌شود، در نتیجه این امر سبب متراکم شدن بافت و سخت‌تر شدن بافت محصول می‌گردد (Rudra et al, 2015; Ding et al, 2005). نتایج مشابه اثر رطوبت بر سختی بافت توسط محققان مشاهده شد (Wójtowicz et al, 2013; Liu et al, 2000).

سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر

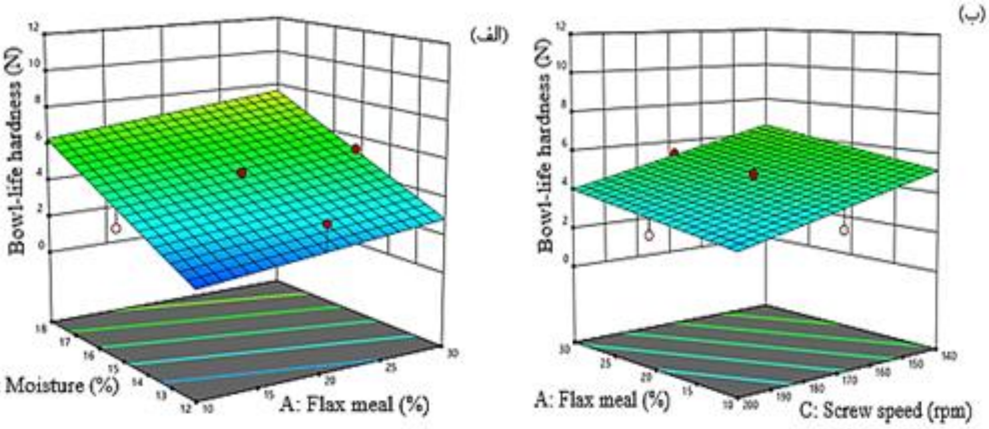
طول مدتی است که فراورده غله صبحانه می‌تواند تردی بافت خود را بعد از خیساندن در شیر حفظ کند (Kumari et al, 2019). به طورکلی میزان این شاخص مرتبط با یکپارچگی ساختار، ظرفیت جذب آب، حلالیت و دانسیته غله صبحانه است (Cheewapramong et al, 2002). تردی بافت یک عامل بسیار مهم و موثر در قابلیت پذیرش و مصرف فراورده‌های غلات صبحانه است. پس از غوطه‌ور کردن غله صبحانه در شیر تغییراتی که در ویژگی‌های ریز ساختاری فراورده ایجاد می‌شود به علت نقش پلاستی‌سایزری ترکیبات آمورف مانند نشاسته و پروتئین‌ها است. نتیجه این تغییر کاهش نیروی مورد نیاز جهت له‌شدن فراورده و کاهش تردی فراورده می‌باشد (Oliveira et al, 2018). افزایش میزان کنجاله کتان به دلیل افزایش مقدار فیبر، پروتئین و چربی فراورده سبب کاهش سختی بافت و افزایش انسجام بافت نمونه‌ها (بعد از غوطه‌وری در شیر) از ۰/۷۹ به ۱۰/۶۱ نیوتن گردید (شکل ۳، الف و ب). با افزایش میزان فیبر نامحلول غله صبحانه در سطوح جایگزینی بالا به علت سخت‌تر شدن مسیر جریان و متراکم‌تر شدن ساختار

فراورده ، جذب رطوبت کمتر شده و به سبب این امر غله صبحانه بعد از غوطه‌ور کردن در شیر بافت مستحکمی دارد و انسجام بافت افزایش می‌یابد، اما جهت حفظ انسجام بافت باید میزان فیبر فراورده بهینه باشد (Oliveira et al, 2017; Chassagne et al, 2011).



شکل ۲- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر سختی بافت، اثر میزان کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه در دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 2. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture on the Dry hardness



شکل ۳- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر (الف) اثر مقدار کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر میزان کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

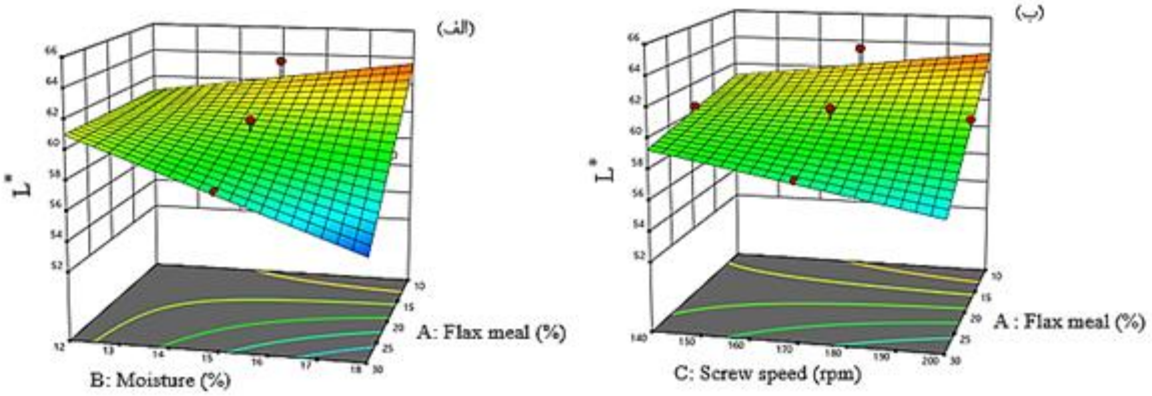
Fig. 3. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a), flax cake, screw speed on bowl life hardness

همچنین Ferreira و همکاران (۲۰۲۱) مشاهده کردند که با افزودن فیبر رژیمی اینولین به غله صبحانه نیروی برشی مورد نیاز کاهش یافت اما بعد از غوطه وری بافت فراورده دچار شکنندگی و له‌شدگی نشد (Ferreira et al, 2021). با افزایش میزان رطوبت خوراک، سختی بافت بعد از غوطه‌وری در شیر کاهش و انسجام بافت افزایش یافت (شکل ۳، الف). بعد از غوطه‌ور کردن در شیر به دلیل تشکیل لایه‌ای از لیپید و میسل بر سطح فراورده غله صبحانه، مانع انتقال جرم و جذب رطوبت شده بنابراین، جذب رطوبت توسط فراورده نسبت به حالت غوطه‌وری در آب کاهش یافته می‌یابد و در نتیجه نیروی برشی کاهش و انسجام بافت افزایش می‌یابد. بنابراین غله صبحانه‌ای که پس از غوطه‌ور شدن در شیر بافت خود را حفظ کند نماینده بافت مناسب آن فراورده است (Oliveira et al, 2017; Medina et al, 2013; Machado et al, 1999). در پژوهش انجام شده توسط Ferreira و همکاران (۲۰۲۱) فاز محلول شیر به‌عنوان پلاستی‌سایزر سبب کاهش نیروی برشی شد همچنین بخش محلول در آب فیبر رژیمی اینولین می‌تواند با فاز محلول شیر برهمکنش ایجاد کند و باعث کاهش نیروی برشی فراورده گردد. در واقع مقدار جذب آب الگوی خوبی است که میزان انسجام بافت نمونه–ها را نشان می‌دهد، به این صورت

که نمونه‌ای که جذب آب بالایی دارد در مقایسه با نمونه‌ای که جذب آب پایینی دارد بافت آن سریع‌تر سست می‌شود بنابراین این امکان وجود دارد که از طریق کاهش میزان جذب آب زمان انسجام بافت نمونه غله صبحانه اکسترود شده را طولانی کرد(Ferreira et al, 2021). تفاوت در میزان جذب آب می‌تواند مربوط به تفاوت‌هایی در ترکیب نشاسته یا فیبر رژیمی دانه‌های مختلف باشد (Brennan et al, 2012). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ سختی بافت افزایش و انسجام بافت کاهش یافت (شکل۳، ب). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، وزن مولکولی آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته پس از فرایند اکستروژن کاهش می‌یابد، این امر سبب افزایش ظرفیت جذب آب و منجر به افزایش له شدگی غله صبحانه در شیر می‌شود، همچنین با افزایش مقدار نشاسته آسیب دیده، اندازه خلل و فرج کوچک‌تر، بافت نرم‌تر و افزایش میزان چسبندگی فراورده را موجب می‌شود (Colonna et al, 1984). مالتودکسترین نیز به‌عنوان یکی از اجزای ثابت فرمولاسیون سبب حفظ تردی و انسجام بافت پس از غوطه‌وری در شیر شد (Culbertson, 2004).

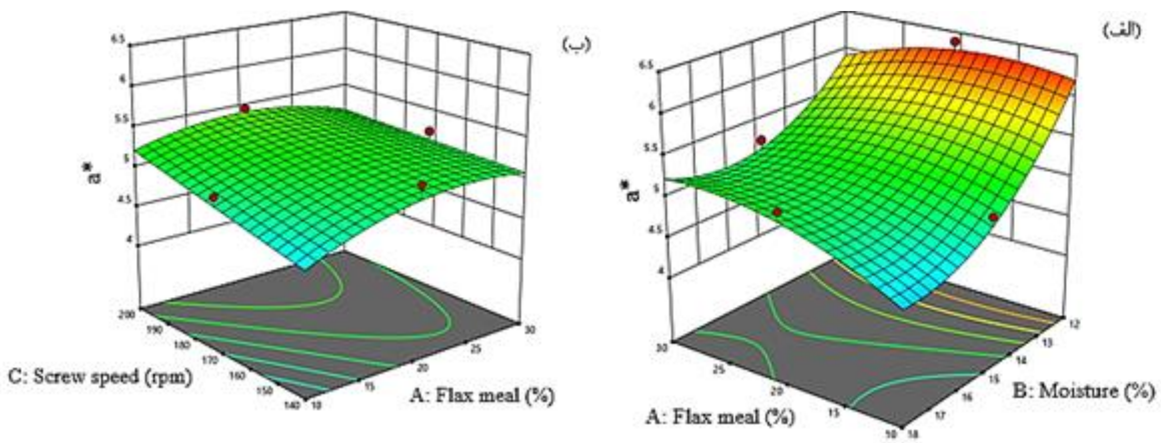
رنگ

در فراورده‌های اکسترود شده عوامل اصلی تغییر رنگ فراورده، واکنش‌های قهوه ای شدن غیرآنزیمی (مایلارد و کاراملیزاسیون)، دناتوره شدن پروتئین ها و تخریب رنگدانه ها می‌باشند (Oliveira et al, 2018; Rosentrater et al, 2009). با افزایش مقدار کنجاله کتان میزان شاخص روشنایی از ۶۴/۴۲ به ۵۳/۳۴ کاهش، شاخص قرمزی از ۴/۰۹ به ۶/۳۸ افزایش و شاخص زردی از ۲۳/۹۷ به ۱۹/۴۹ کاهش یافت (شکل ۴، الف و ب، شکل ۵، الف و ب، شکل ۶، الف و ب).



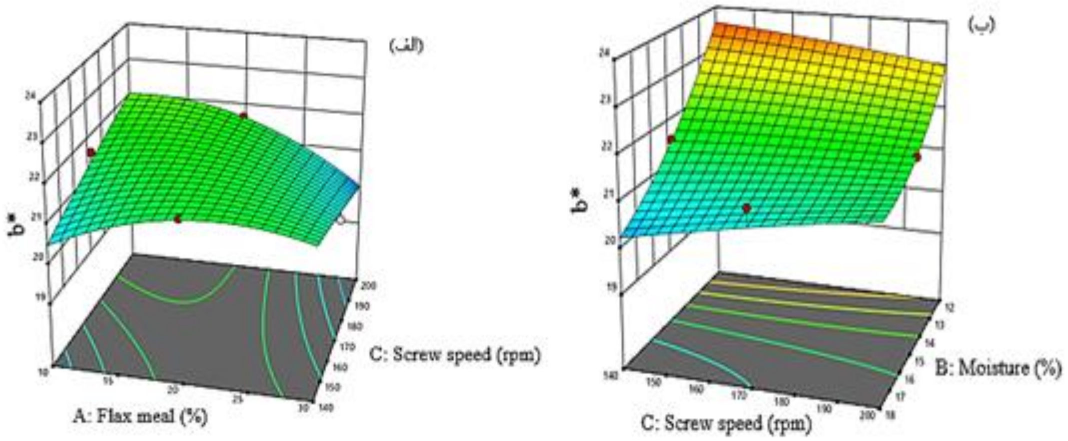
شکل ٤- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر L^* (الف) اثر میزان کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر مقدار کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 4. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a), flax cake, screw speed on L^*



شکل ۵- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر a^* (الف) اثر مقدار کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر میزان کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 5. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a)- flax cake, screw speed on a*



شکل ٦- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر b^* (الف) اثر میزان کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵ درصد (ب) اثر سرعت مارپیچ و رطوبت در سطح کنجاله ۲۰ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

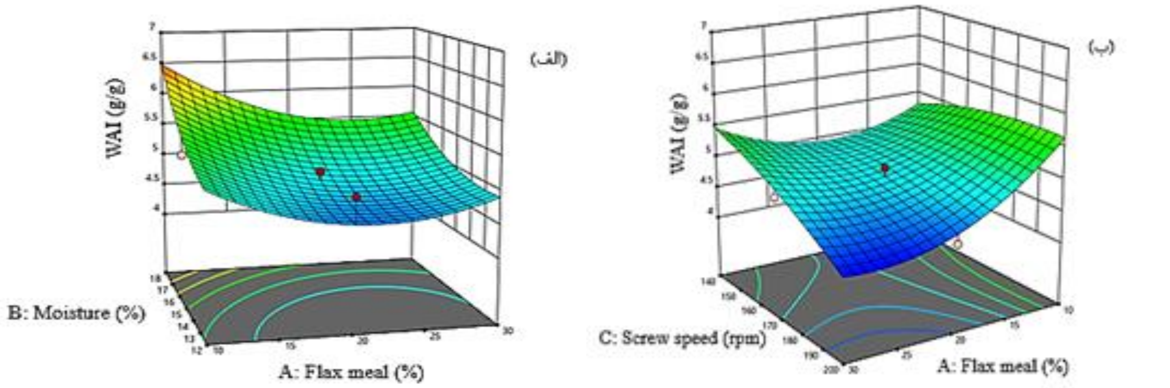
Fig. 6. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a)- flax cake, screw speed on a*

با افزایش سطح کنجاله کتان به علت افزایش میزان رنگدانه‌های قهوه‌ای و همچنین افزایش ترکیبات پروتئینی در خوراک، باعث افزایش واکنش مایلارد بین اسید آمینه لیزین و قندهای احیاکننده می‌شود و در نهایت سبب تیره‌تر شدن رنگ فراورده و کاهش شاخص روشنایی، زردی و افزایش شاخص قرمزی خواهد شد (Kaur et al, 2018; Jaya et al., 2014; Marpalle et al, 2014; Koca & Anil, 2007; Garden-Robinson, 1993). نتایج مشابه توسط (Kaur et al, 2019; Mesquita et al, 2013) مشاهده شد. علاوه بر این با افزایش میزان پروتئین و فیبر خوراک میزان ژلاتینه شدن نشاسته کاهش پیدا می‌کند که این امر سبب کاهش انبساط طولی و عرضی فراورده و به موجب آن افزایش دانسیته حجمی می‌شود. این بدان معنی است که نسبت سطح به حجم کاهش یافته و پراکندگی رنگدانه‌ها در سطح فراورده کاهش پیدا کرده در نتیجه رنگ نهایی محصول تیره‌تر می‌شود (Jozinović et al, 2016). با افزایش رطوبت میزان شاخص روشنایی، شاخص قرمزی و شاخص زردی کاهش یافت (شکل ۴، الف، شکل ۵، الف و شکل۶، ب). افزایش رطوبت از طریق کاهش انبساط همانطور که ذکرشد سبب کاهش پراکنش رنگدانه ها می‌شود. علاوه بر این، در رطوبت بالا دمای ماده مذاب و ویسکوزیته کاهش یافته و به سبب آن تخریب رنگدانه ها در اکسترودر کاهش و رنگ فراورده تیره‌تر و شاخص‌های روشنایی، قرمزی و زردی کاهش می‌یابد (Nazir et al, 2016; Liu et al, 2000). برخی پژوهش‌ها گزارش کردند با افزایش رطوبت شاخص روشنایی کاهش یافت (Oliveira et al, 2017; Ilo & Berghofer, 1999). Gümüşay و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش شاخص زردی با افزایش رطوبت را برای فراورده بر پایه ذرت بیان کردند (Gümüşay et al, 2019). همچنین کاهش شاخص قرمزی در آرد نوعی ارزن با افزایش رطوبت مشاهده شده است (Gulati et al, 2016). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ شاخص روشنایی کاهش و شاخص قرمزی و زردی افزایش یافت (شکل۴، ب؛ شکل ۵، ب؛ شکل۶، ب). افزایش سرعت مارپیچ به دلیل کاهش زمان اقامت خوراک داخل اکسترودر و همچنین کاهش زمان حرارت، تخریب رنگدانه‌ها کاهش یافته و رنگ فراورده تیره‌تر می‌گردد (Gümüşay et al, 2019; Nazir et al, 2016). Gulati و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند با افزایش سرعت مارپیچ شاخص زردی در آرد نوعی ارزن افزایش یافت (Gulati et al, 2016).

شاخص جذب آب (WAI)

این شاخص بیانگر میزان آب جذب شده توسط گرانول‌های نشاسته است و به‌عنوان معرف ژلاتینه شدن می‌باشد. شاخص جذب آب با حجم نشاسته رابطه مستقیم دارد و میزان تجزیه هیدرولیکی نشاسته را نشان می‌دهد (Yadav et al, 2014; Singh et al, 2014; Lazou and Krokida, 2010). به‌طور کلی هرچقدر زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته کمتر آسیب دیده باشند و گروه‌های هیدروفیل بیشتری در سطح خارجی مولکول قرار گیرند، امکان اتصالات با آب افزایش و در نتیجه میزان جذب آب افزایش می‌یابد (Singh et al, 2014; Lazou and Krokida, 2010). در فراورده‌های با ساختمان به هم فشرده و متراکم به واسطه جذب آب پایین در هنگام غوطه‌ور کردن در شیر بافت فراورده حفظ می‌شود (Carvalho et al, 2012). با افزایش میزان کنجاله کتان مقدار جذب آب از ۶/۷۰(g/g) به ۴/۲۸ کاهش یافت (شکل ۹، الف و ب). از آن جایی‌که فیبرها ظرفیت اتصال آب و سرعت جذب آب بالاتری از نشاسته و پروتئین‌ها دارند سبب عدم

دسترسی گروه‌های هیدروفیل نشاسته به مولکول‌های آب شده و در نتیجه میزان جذب آب کاهش می‌یابد (Altan et al, 2008; Brennan et al, 2008). اثرات مشابه مشاهده شده است (Yağcı and Göğüş, 2008; Singh et al, 2007). علت دیگر این امر می تواند مربوط به تغییر اتصالات عرضی ایجاد شده بین گروه‌های هیدورفیل OH، COOH، SH و NH_2 با نشاسته در اثر حرارت باشد نتیجه این امر باعث کاهش جذب آب نشاسته می‌گردد (Yadav et al, 2014; Wootton and Bamunuarachchi, 1978). چربی عامل دیگری است که از طریق کاهش قسمت‌های در دسترس برای اتصال گروه‌های آب دوست با آب سبب کاهش میزان جذب آب فراورده می گردد (Adebowale et al, 2005; Heywood et al, 2002). با افزایش رطوبت میزان جذب آب فراورده افزایش یافت (شکل ۷، الف). آب به‌عنوان پلاستی‌سایزر در طی فرایند اکستروژن می‌تواند سبب کاهش نیروی برشی شود بنابراین تخریب نشاسته کاهش یافته و به سبب آن میزان جذب آب افزایش می‌یابد (Sharma et al, 2017; Ravindran et al, 2011). نتایج مشابهی گزارش شده است (Singh et al, 2007; Ding et al, 2005). افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث کاهش میزان جذب آب فراورده نهایی شد (شکل ۷، ب). با افزایش نیروی برشی اکسترودر بر نشاسته میزان تجزیه و دکسترینه شدن نشاسته افزایش یافته و منجر به باز شدن زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین می‌گردد، بنابراین مولکول‌های با وزن پایین حاصل می‌شوند که سبب افزایش حلالیت شده و به دلیل اینکه قابلیت دسترسی مولکول‌های آب به گروه‌های هیدروفیل کاهش می‌یابد موجب کاهش میزان جذب آب می‌شود (Singh et al, 2014). همچنین افزایش سرعت مارپیچ سبب تسریع تخریب اتصالات عرضی بین اجزای نشاسته، پروتئین و چربی شده و در نتیجه سبب انحلال ترکیبات پلی ساکاریدی و پروتئینی گردیده که در نهایت میزان جذب آب فراورده کاهش می‌یابد (Singh et al, 2014). نتایج مشابه مشاهده شده است (Jacques-Fajardo et al, 2017; Wani and Kumar, 2016).



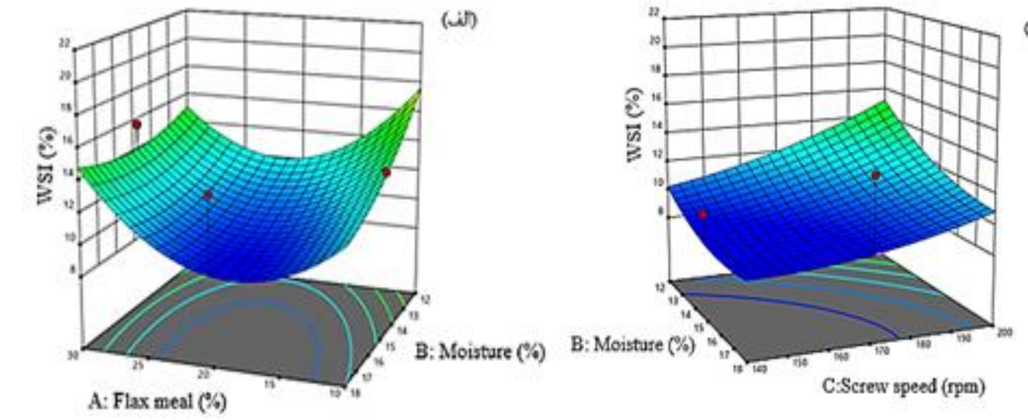
شکل ۷- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر WAI (الف) اثر میزان کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر مقدار کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در رطوبت ۱۵درصد و دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 7. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a)- flax cake, screw speed on WAI

شاخص حلالیت در آب (WSI)

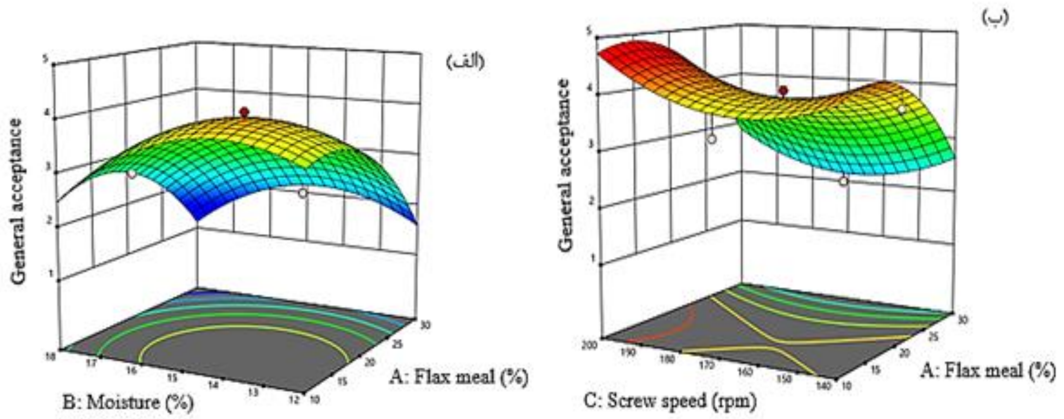
این شاخص معرف تجزیه ترکیبات مولکولی است و مبین میزان ترکیبات با وزن مولکولی پایین محلول آزاد شده از نشاسته درطی فرایند اکستروژن می‌باشد (Pardhi et al, 2019). این ترکیبات محلول در آب می‌تواند حاصل تجزیه نشاسته یا دناتوراسیون پروتئین ها و فیبرها باشد (Selani et al, 2014). افزایش رطوبت موجب کاهش میزان شخاص حلالیت در آب شد (شکل ۸، الف). علت این امر می تواند مربوط به نقش پلاستی‌سایزری رطوبت در مقادیر بالا باشد که سبب کاهش نیروی برشی مارپیچ شده و در نتیجه به‌عنوان اثر محافظتی روی بیومولکول‌ها عمل می‌کند و باعث کاهش آسیب پلیمرها و مولکول های آزاد شده در طی فرایند می‌شوند (Sharma et al, 2017; Selani et al, 2014). نتایج مشابهی مشاهده است (Wójtowicz et al, 2015; Ding et al, 2005). با افزایش سرعت مارپیچ میزان شاخص حلالیت در آب از ۹ به ۲۱/۳۳ درصد افزایش یافت (شکل ۸، ب). در سرعت‌های مارپیچ بالا به علت افزایش انرژی مکانیکی و نیروی برشی مارپیچ، ماکرومولکول‌ها تخریب شده و مولکول‌های با وزن مولکولی پایین و حلالیت بالا تولید می‌گردد (Singh et al, 2014; Doğan and Karwe, 2003). با افزایش مقدارکنجاله کتان تا سطح ۲۰ درصد میزان شاخص حلالیت در آب کاهش سپس با افزایش مجدد تا سطح ۳۰ درصد میزان این شاخص افزایش یافت (شکل ۸، الف). فیبر بالای خوراک می‌تواند سبب از هم گسیختگی ساختمان پیوسته ماده مذاب در اکسترودر شده و از تغییر شکل الاستیک آن طی فرایند جلوگیری کند.

این امر سبب ممانعت از تخریب ماکرومولکول‌ها می‌گردد در نتیجه میزان حلالیت فراورده مولکول‌ها کاهش می‌یابد. همچنین اتصال بیشتر نشاسته با پروتئین و چربی می‌تواند منجر به کاهش شاخص حلالیت گردد (Yağcı & Göğüş, 2008). نتایج مشابهی گزارش شده است (Huang et al., 2014; Moraru and Kokini, 2003). افزایش شاخص حلالیت در سرعت مارپیچ بالاتر می‌تواند به علت تجزیه ترکیبات فیبر به مولکول‌های کوچک‌تر باشد. همچنین فیبر در مقادیر بالا سبب جذب بیشتر آب شده و در نتیجه میزان ژلاتینه شدن کاهش یافته و منجر به حل شدن بیشتر مولکول‌های نشاسته و افزایش شاخص حلالیت می‌گردد (Larrea et al, 2005). اثر مشابهی گزارش شده است (Altan et al, 2008; Moraru & Kokini, 2003).



شکل ۸- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر WSI (الف) اثر سطح کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر سطح رطوبت و سرعت مارپیچ در سطح کنجاله کتان ۲۰ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد

Fig. 8. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a)- flax cake, screw speed on WSI



شکل ۹- اثر متغیرهای فرایند اکستروژن بر پذیرش کلی (الف) اثر مقدار کنجاله کتان و رطوبت در سرعت مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه (ب) اثر میزان کنجاله کتان و سرعت مارپیچ در سطح رطوبت ۱۵ درصد و دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد.

Fig. 9. Effect of extrusion conditions: flax cake, moisture content (a)- flax cake, screw speed on Total acceptance

آزمون حسی

با افزایش مقدار کنجاله کتان تا سطح ۲۰ درصد میزان پذیرش کلی افزایش سپس در سطوح بالاتر کاهش یافت (محدوده تغییرات از ۱/۶ تا ۴/۶)، علت این امر حضور مقادیر بیشتر فیبر، چربی و پروتئین است که سبب افزایش سختی بافت و ناهمواری سطح فراورده گردید و همچنین به علت افزایش رنگدانه‌های قهوه‌ای رنگ فراورده تیره‌تر شد و از لحاظ طعمی میزان تلخی آن افزایش یافت (شکل ۹، الف و ب) (Kaur et al, 2018; Marpalle et al, 2014; Riaz and Rokey, 2011; Ahmed et al, 1999). با افزایش رطوبت تا سطح ۱۵درصد میزان پذیرش کلی افزایش و سپس با افزایش بیشتر رطوبت تا سطح

۱۸ درصد، میزان این امتیاز کاهش یافت، به‌نظر می‌رسد با افزایش رطوبت به علت نقش پلاستی‌سایزری رطوبت بر نشاسته و همچنین کاهش دمای اکسترودر سبب کاهش میزان نشاسته پخته شده و کاهش ویسکوزیته گشته بنابراین فراورده ای با تراکم بالا و سختی زیاد ایجاد می‌گردد (شکل ۹، الف) (Santos et al, 2019; Kaur et al, 2018; Rudra et al, 2015; Ding et al, 2005). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ تا سرعت ۱۷۰ دور بر دقیقه میزان پذیرش‌کلی کاهش سپس با افزایش سرعت تا ۲۰۰ دور بر دقیقه میزان این امتیاز افزایش یافت (شکل ۹، ب) این امر به علت زمان کمتر اقامت خوراک در اکسترودر و تخریب کمتر نشاسته است که به طبع آن ژلاتینه شدن نشاسته و رشد حباب‌ها افزایش یافته و در نتیجه حجم فراورده افزایش و میزان سختی بافت کاهش می‌یابد در حالی که به‌نظر می‌رسد نیروی برشی بالا سبب تخریب بیشتر رنگدانه‌ها شده در نتیجه رنگ فراورده روشن‌تر شده و میزان پذیرش‌کلی افزایش یافت (Gümüşay et al, 2019; Nazir et al, 2016; Ding et al, 2005).

نتیجه‌گیری

از مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی فراورده‌های غله صبحانه میزان سختی بافت پس از غوطه‌وری در شیر است که در این پژوهش بیشترین میزان آن در سطح ۳۰ درصد کنجاله کتان، رطوبت ۱۸ درصد و کمترین مقدار سرعت چرخش مارپیچ حاصل شد. بعد از غوطه‌ور کردن غله صبحانه در شیر با افزایش درصد کنجاله کتان به علت سخت‌تر شدن مسیر جریان، جذب رطوبت کمتر شده و در نتیجه مانع انبساط فراورده و افزایش دانسیته توده و سختی بافت را موجب می‌شود، همچنین با افزایش رطوبت (میزان شیر) به دلیل تشکیل لایه‌ای از لیپید و میسل بر سطح فراورده مانع انتقال رطوبت و جذب آن شده بنابراین سختی بافت کاهش و انسجام بافت پس از غوطه‌وری افزایش می یابد. در واقع مقدار جذب رطوبت الگوی خوبی است که میزان انسجام بافت نمونه ها را نشان می دهد از این رو در مقادیر بالای کنجاله کتان، به علت ظرفیت اتصال آب و سرعت جذب آب بالاتر فیبر نسبت به نشاسته و پروتئین‌ها، فراورده ساختار به هم فشرده و متراکم دارد که سبب افزایش زمان حفظ بافت غله صبحانه می‌شود. همچنین رطوبت می‌تواند به عنوان پلاستی‌سایزر سبب کاهش نیروی برشی گردد و مقدار جذب رطوبت فراورده را افزایش دهد. در حالی که با افزایش سرعت چرخش مارپیچ اثر نیروی برشی بر دکسترینه شدن نشاسته بیشتر شده و سبب کاهش جذب رطوبت می‌گردد. از دیگر ویژگی‌های مهم غلات صبحانه شاخص روشنایی می‌باشد که بیشترین مقدار آن در سرعت چرخش مارپیچ، رطوبت و سطح کنجاله کتان پایین حاصل شد. در بررسی خصوصیات حسی فراورده‌های تولید شده در سطوح کنجاله کمتر از ۲۰ درصد، مقادیر رطوبت کمتر از ۱۵ درصد و سرعت مارپیچ ۲۰۰ دور بر دقیقه بیشترین میزان پذیرش‌کلی را نشان داد. نتایج بهینه‌یابی نشان داد غلات صبحانه حاوی ۱۷ درصد کنجاله کتان، رطوبت خوراک ۱۳/۸۹ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۷۰ دور بر دقیقه بهترین فراورده با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مطلوب بود.

منابع

1 AACC International Press.properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food engineering*, 66(3), pp.283-289.

2 AACC. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

3 Adebowale, Y.A., Adeyemi, I. A. and Oshodi, A. A., (2005). Functional and physicochemical properties of flours of six Mucuna species. *African Journal of Biotechnology*, 4(12).

4 Ahmed, Z. S., (1999). Physico-chemical, structural and sensory quality of corn-based flax-snack. *Food/Nahrung*, 43(4), pp.253-258. https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3803(19990801)43:4<253::AID-FOOD253>3.0.CO;2-3

5 Alam, M.R., Scampicchio, M., Angeli, S. and Ferrentino, G., (2019). Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. *Journal of Food Engineering*, 259, pp.44-51. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.021

6 Altan, A., McCarthy, K. L. and Maskan, M., (2008). Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84(2), pp.231-242. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.014

7 Bekhit, A. E. D. A., Shavandi, A., Jodjaja, T., Birch, J., Teh, S., Ahmed, I. A. M., Al-Juhaimi, F. Y., Saeedi, P. and Bekhit, A. A., (2018). Flaxseed: Composition, detoxification, utilization, and opportunities. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 13, pp.129-152. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.11.017

8 Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K. and Maroulis, Z. B., (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food research international*, 53(1), pp.1-14. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.03.043

9 Brennan, M. A., Lan, T. and Brennan, C. S., (2016). Synergistic effects of barley, oat and legume material on physicochemical and glycemic properties of extruded cereal breakfast products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3), pp.405-413.

10 Brennan, M. A., Menard, C., Roudaut, G. and Brennan, C. S., (2012). Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch-Stärke*, 64(5), pp.392-398. https://doi.org/10.1002/star.201100150

11 Brennan, M. A., Merts, I., Monro, J., Woolnough, J. and Brennan, C. S., (2008). Impact of guar and wheat bran on the physical and nutritional quality of extruded breakfast cereals. *Starch-Stärke*, 60(5), pp.248-256. https://doi.org/10.1002/star.200700698

12 Brennan, M. A., Monro, J. A. and Brennan, C. S., (2008). Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(12), pp.2278-2288.

13 Carvalho, A. V., Mattietto, R. D. A., Bassinello, P. Z., Koakuzu, S. N., Rios, A. D. O., Maciel, R. D. A. and Carvalho, R. N., (2012). Processing and characterization of extruded breakfast meal formulated with broken rice and bean flour. *Food Science and Technology*, 32(3), pp.515-524. https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000073

14 Chassagne-Berces, S., Leitner, M., Melado, A., Barreiro, P., Correa, E. C., Blank, I., Gumy, J. C. and Chanvrier, H., (2011). Effect of fibers and whole grain content on quality attributes of extruded cereals. *Procedia Food Science*, 1, pp.17-23. https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.004

15 Cheewapramong, P., Riaz, M. N., Rooney, L. W. and Lusas, E. W., (2002). Use of partially defatted peanut flour in breakfast cereal flakes. *Cereal chemistry*, 79(4), pp.586-592. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2002.79.4.586

16 Chronakis, I. S., (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 38(7), pp.599-637. https://doi.org/10.1080/10408699891274327

17 Colonna, P., Doublier, J. L., Melcion, J. P., De Monredon, F. and Mercier, C., (1984). Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry*, 61(6), pp.538-543.

18 Culbertson, J. D., (2004). Grain, cereal: ready-to-eat breakfast cereals. *Food processing: principles and applications*, pp.239-248.

19 da Silva, R. F. and Ascheri, J. L. R., (2009). Extrusion of broken rice for use as food ingredient. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12(1/4), pp.190-199.

20 de Mesa, N. J. E., Alavi, S., Singh, N., Shi, Y. C., Dogan, H. and Sang, Y., (2009). Soy protein-fortified expanded extrudates: Baseline study using normal corn starch. *Journal of Food Engineering*, 90(2), pp.262-270. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.032

21 Ding, Q. B., Ainsworth, P., Tucker, G. and Marson, H., (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019

22 Doğan, H. and Karwe, M. V., (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), pp.101-114. https://doi.org/10.1177/1082013203009002006

23 dos Santos, P. A., Caliari, M., Júnior, M. S. S., Silva, K. S., Viana, L. F., Garcia, L. G. C. and de Lima, M. S., (2019). Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. *Food chemistry*, 297, p.124956. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124956

24 Falcone, R. G. and Phillips, R. D., (1988). Effects of feed composition, feed moisture, and barrel temperature on the physical and rheological properties of snack-like products prepared from cowpea and sorghum flours by extrusion. *Journal of Food Science*, 53(5), pp.1464-1469.

25 Ferreira, S. M., Capriles, V. D. and Conti-Silva, A. C., (2021). Breakfast cereals with inulin obtained through thermoplastic extrusion: Chemical characteristics and physical and technological properties. *LWT*, 137, p.110390. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110390

26 Garden-Robinson, J., (1993). Flaxseed gum: Extraction, characterization, and functionality (Doctoral dissertation, North Dakota State University).

27 Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S. and Sihag, M., (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of food science and technology*, 51(9), pp.1633-1653. https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9

28 Grand View Research, (2016). Europe and Asia Rice Noodles Market Analysis and Segments Forecasts to 2022. Grand View Research, Inc., p. 62. Report ID: 978-1-68038-777-3.

29 Gulati, P., Weier, S. A., Santra, D., Subbiah, J. and Rose, D. J., (2016). Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*P Anicum Miliaceum*) flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), pp.114-122.

30 Gümüşay, Ö. A., Şeker, M. and Sadıkoğlu, H., (2019). Response surface methodology for evaluation of the effects of screw speed, feed moisture and xanthan gum level on functional and physical properties of corn half products. *LWT*, 111, pp.622-631. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.083
31 Heywood, A. A., Myers, D. J., Bailey, T. B. and Johnson, L. A., (2002). Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-expelling system. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(12), p.1249.
32 Huang, J., Lui, W. B. and Peng, J., (2014). Effects of Screw Speed and Sesame Cake Level on Optimal Operation Conditions of Expanded Corn Grits Extrudates. *International Journal of Food Engineering*, 10(2), pp.317-328.
33 Ilo, S. and Berghofer, E., (1999). Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 39(1), pp.73-80. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00148-4
34 Jacques-Fajardo, G. E., Prado-Ramírez, R., Arriola-Guevara, E., Carrillo, E. P., Espinosa-Andrews, H. and Morales, G. M. G., (2017). Physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn, yellow pea and oat bran blend. *LWT*, 84, pp.804-814. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.046
35 Jaya, Dhungana, and P. K. Poudel. "Formulation and quality evaluation of maize-rice-defatted flaxseed blend extruded product." In Food Science and Technology for Agro-entrepreneurship Development. 7th National Conference of Food Science & Technology (Food Conference-2014), 13-14 June 2014, Kathmandu, Nepal, pp. 127-138. Nepal Food Scientists and Technologists Association (NEFOSTA), 2014.
36 Jozinović, A., Šubarić, D., Ačkar, Đ., Babić, J. and Miličević, B., (2016). Influence of spelt flour addition on properties of extruded products based on corn grits. *Journal of Food Engineering*, 172, pp.31-37. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.04.012
37 Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J. and Gat, Y., (2019). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), pp.372-377. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.12.004
38 Kaur, P., Waghmare, R., Kumar, V., Rasane, P., Kaur, S. and Gat, Y., (2018). Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. *OCL*, 25(3), p.A304.
39 Koca, A.F. and Anil, M., (2007). Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), pp.1172-1175. https://doi.org/10.1002/jsfa.2739
40 Kumari, R., Singh, K., Singh, R., Bhatia, N. and Nain, M. S., (2019). Development of healthy ready-to-eat (RTE) breakfast cereal from popped pearl millet. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(5), pp.877-81.
41 Larrea, M. A., Chang, Y. K. and Bustos, F. M., (2005). Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp. *Food Chemistry*, 89(2), pp.301-308. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.037
42 Lazou, A. and Krokida, M., (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), pp.609-616. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.017
43 Lazou, A. and Krokida, M., (2011). Thermal characterisation of corn–lentil extruded snacks. *Food Chemistry*, 127(4), pp.1625-1633. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.029
44 Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H. and Huff, H. E., (2000). Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of food science*, 65(7), pp.1253-1259.
45 Machado, M. F., Oliveira, F. A. and Cunha, L. M., (1999). Effect of milk fat and total solids concentration on the kinetics of moisture uptake by ready-to-eat breakfast cereal. *International journal of food science & technology*, 34(1), pp.47-57.
46 Manjula, B. and Visvanathan, R., (2014). Process optimisation of extruded breakfast cereal from rice mill brokens-finger millet-maize flour blends. *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 3(4), p.66.
47 Marpalle, P., Sonawane, S. K. and Arya, S. S., (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT-Food Science and Technology*, 58(2), pp.614-619. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003
48 Medina, W. T., Quevedo, R. A. and Aguilera, J. M., (2013). Changes on image texture features of breakfast flakes cereals during water absorption. *Food science and technology international*, 19(1), pp.45-57. https://doi.org/10.1177/1082013212442182
49 Meng, X., Threinen, D., Hansen, M. and Driedger, D., (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), pp.650-658. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016
50 Mesquita, C. D. B., Leonel, M. and Mischan, M. M., (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Science and Technology*, 33(3), pp.404-410. https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000073
51 Moraru, C. I. and Kokini, J. L., (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2(4), pp.147-165. https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x

52 Nazir, F., Naik, H. R. and Hussain, S. Z., (2016). Effect of extrusion conditions and apricot powder incorporation on colour parameters of rice based breakfast snacks. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(3), pp.1673-1678.
53 O'shea, N., Arendt, E. and Gallagher, E., (2014). Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food and bioprocess technology*, 7(6), pp.1767-1782. https://doi.org/10.1007/s11947-013-1181-x
54 Oliveira, L. C., Alencar, N. M. and Steel, C. J., (2018). Improvement of sensorial and technological characteristics of extruded breakfast cereals enriched with whole grain wheat flour and jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. *LWT*, 90, pp.207-214. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.017
55 Oliveira, L. C., Rosell, C. M. and Steel, C. J., (2015). Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International journal of food science & technology*, 50(6), pp.1504-1514.
56 Oliveira, L. C., Schmiele, M. and Steel, C. J., (2017). Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT*, 75, pp.261-270. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.064
57 Onwulata, C. I. and Konstance, R. P., (2006). Extruded corn meal and whey protein concentrate: effect of particle size. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(4), pp.475-487.
58 Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Saalia, F. K., Eitenmiller, R. R. and Phillips, R. D., (2008). Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), pp.632-641. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.010
59 Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A. and Dar, B. N., (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), pp.7-16. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.006
60 Perdon, A. A., Poutanen, K. S. and Schonauer, S. L., (2020). Breakfast cereals and how they are made-Introduction. In Breakfast Cereals and How They Are Made (pp. 1-4). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812043-9.00001-1
61 Ravindran, G., Carr, A. and Hardacre, A., (2011). A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea–rice blends. *Food Chemistry*, 124(4), pp.1620-1626. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.030
62 Rhee, K. S., Kim, E.S., Kim, B. K., Jung, B. M. and Rhee, K. C., (2004). Extrusion of minced catfish with corn and defatted soy flours for snack foods. *Journal of food processing and preservation*, 28(4), pp.288-301.
63 Riaz, M. N. and Rokey, G. J., (2011). Impact of protein, starch, fat and fiber on extruded foods and feeds. *Extrusion problems solved*, pp.43-53.
64 Rosentrater, K. A., Muthukumarappan, K., and Kannadhason, S. (2009). Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and potato starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*, 1(1): 22-38.
65 Rudra, S. G., Jakhar, N., Nishad, J., Saini, N., Sen, S., Bhardhwaj, R., Jaiswal, S., Suneja, P., Singh, S. and Kaur, C., (2015). Extrusion conditions and antioxidant properties of sorghum, barley and horse gram based snack. Vegetos-An *International Journal of Plant Research*, 28(2), pp.171-182.
66 Selani, M. M., Brazaca, S. G. C., dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A. and Bianchini, A., (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food chemistry*, 163, pp.23-30. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.076
67 Sen, S., Chakraborty, R. and Kalita, P., (2020). Rice-not just a staple food: A comprehensive review on its phytochemicals and therapeutic potential. *Trends in Food Science & Technology*. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.022
68 Sharma, C., Singh, B., Hussain, S.Z. and Sharma, S., (2017). Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *Journal of food science and technology*, 54(6), pp.1711-1720. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2606-8
69 Silva, PA, Assis, GT, Carvalho, AV and Simões, MG, (2011). Development and characterization of extruded cassava breakfast cereal enriched with whey protein concentrate. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14 (4), pp.260-266.
70 Singh, B., Sekhon, K. S. and Singh, N., (2007). Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food chemistry*, 100(1), pp.198-202. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.042
71 Singh, R. R., Majumdar, R. K. and Venkateshwarlu, G., (2014). Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology. *Journal of food science and technology*, 51(9), pp.1827-1836. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0725-9
72 Strahm, B., (1998). Fundamentals of polymer science as an applied extrusion tool. *Cereal Foods World*, 43(8), pp.621-625.

73 Walter, M., Marchezan, E. and de Avila, L.A., (2008). Rice: composition and nutritional characteristics. *Ciência Rural*, 38(4), pp.1184-1192.
74 Wani, S.A. and Kumar, P., (2016). Development and parameter optimization of health promising extrudate based on fenugreek oat and pea. *Food bioscience*, 14, pp.34-40. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2016.02.002
75 Wójtowicz, A., Kolasa, A. and Mościcki, L., (2013). Influence of buckwheat addition on physical properties, texture and sensory characteristics of extruded corn snacks. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 63(4), pp.239-244.
76 Wójtowicz, A., Mitrus, M., Oniszczuk, T., Mościcki, L., Kręcisz, M. and Oniszczuk, A., (2015). Selected physical properties, texture and sensory characteristics of extruded breakfast cereals based on wholegrain wheat flour. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, pp.301-308. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.051
77 Wootton, M. and Bamunuarachchi, A., (1978). Water binding capacity of commercial produced native and modified starches. *Starch-Stärke*, 30(9), pp.306-309. https://doi.org/10.1002/star.19780300905
78 Wu, M., Li, D., Wang, L.J., Özkan, N. and Mao, Z. H., (2010). Rheological properties of extruded dispersions of flaxseed-maize blend. *Journal of Food Engineering*, 98(4), pp.480-491. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.031
79 Yadav, D. N., Anand, T. and Singh, A. K., (2014). Co-extrusion of pearl millet-whey protein concentrate for expanded snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(3), pp.840-846.
80 Yağcı, S. and Göğüş, F., (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering,* 86(1), pp.122-132. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.018
81 Yaman, M., Sargın, H. S. and Mızrak, Ö. F., (2019). Free sugar content, in vitro starch digestibility and predicted glycemic index of ready-to-eat breakfast cereals commonly consumed in Turkey: An evaluation of nutritional quality. *International journal of biological macromolecules*, 135, pp.1082-1087. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.037